



УДК 550.34.01
DOI: 10.22227/2949-1622.2025.4.18-30

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH ARTICLE

Исследование сцепления с бетоном арматуры нового класса прочности A550 СК

А.В. Шевченко^{1*}, А.Е. Наумов², М.А. Шевченко²

¹ АО «КТБ Железобетон», Москва, Российская Федерация

² Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Москва, Российская Федерация
* a.shevchenko@ktbbeton.com

Ключевые слова: арматура, железобетон, сцепление арматуры с бетоном

История статьи

Поступила в редакцию: 12.11.2025

Доработана: 17.11.2025

Принята к публикации: 20.11.2025

Для цитирования

Шевченко А.В., Наумов А.Е., Шевченко М.А. Исследование сцепления с бетоном арматуры нового класса прочности A550 СК // Железобетонные конструкции. 2025. Т. 12. № 4. С. 18–30.

Аннотация. Для нормативного обоснования контролируемых параметров арматурного проката необходимы представительные экспериментальные исследования. В работе изложены результаты экспериментальных исследований сцепления арматуры нового класса прочности A550 СК с бетоном. Данная статистическая обработка результатов. Получающиеся в результате экспериментальной оценки показатели удельной прочности сцепления, кН/мм, арматурного проката d10–36 A550СК в бетоне классов B30–B40 продемонстрировали устойчивую возрастающую линейную зависимость от относительной площади смятия поперечных ребер f_R , что требует подтверждения и на других сечениях проката и параметрах его оребрения, однако можно утверждать, что с обеспеченностью 0,95 учет в совершенствованной методике оценки величины анкеровки проката фактических параметров сечения позволит в пределах разброса свойств даже в одной партии обеспечивать обоснованное изменение расчетного сцепления арматуры с бетоном на величину до 15 % для проката малых диаметров (до 20 мм) и до 10 % для больших диаметров (20+ мм), в отношении которого рационализация нормативно требуемых больших величин расчетных анкеровок является наиболее эффективной и перспективной.

Investigation the Bond Behavior Between Concrete and Steel of the New Strength Class A550

А.В. Shevchenko^{1*}, А.Е. Naumov², М.А. Shevchenko²

¹ KTB Beton Group, Moscow, Russian Federation

² Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Moscow, Russian Federation

* a.shevchenko@ktbbeton.com

Андрей Викторович Шевченко, кандидат технических наук, главный инженер, АО «КТБ Железобетон», 109428, г. Москва, 2-я Институтская, д. 6, стр. 64; eLIBRARY SPIN-код: 9509-5666, E-mail: a.shevchenko@ktbbeton.com

Андрей Евгеньевич Наумов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой экспертизы и управления недвижимостью, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46; eLIBRARY SPIN-код: 9292-9988, E-mail: kafeun@mail.ru

Михаил Андреевич Шевченко, студент, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46; E-mail: shevasheva.m@gmail.com

© Шевченко А.В., Наумов А.Е., Шевченко М.А., 2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Keywords: reinforcement, reinforced concrete, bond strength

Article history

Received: 12.11.2025

Revised: 17.11.2025

Accepted: 20.11.2025

For citation

Shevchenko A.V., Naumov A.E., Shevchenko M.A. Investigation the Bond Behavior Between Concrete and Steel of the New Strength Class A550. *Reinforced concrete structures*. 2025; 4(12):18-30.

Abstract. Representative experimental studies are necessary for the normative substantiation of the controlled parameters of the rolled products. The paper presents the results of experimental studies of the adhesion of reinforcement of the new strength class A550 with concrete. Statistical processing of the results is given. The main ones are defined. The experimentally evaluated specific bond strength indicators, kN/mm, of reinforcing steel $d10\text{--}36$ A550 in concrete classes B30–B40 demonstrated a stable increasing linear dependence on the relative bearing area of the transverse ribs f_R . This requires verification on other cross-sections of the rolled product and its rib parameters. However, it can be stated that with a probability of 0.95, accounting for the actual cross-sectional parameters in the improved method for evaluating the anchorage value of the rolled product will allow, within the scatter of properties even within a single batch, for a justified adjustment of the design bond strength between reinforcement and concrete by up to 15 % for small-diameter rolled products (up to 20 mm) and up to 10 % for larger diameters (20+ mm). For the latter, the rationalization of the normatively required large design anchorage lengths is the most effective and promising.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос экономии материалов в строительстве в настоящее время является одним из важнейших. Поэтому внедрение и применение арматуры промежуточных классов в процесс проектирования гражданских и промышленных объектов следует считать актуальной задачей. Для применения в расчетах требуются новые, экспериментально обоснованные результаты не только о физико-механических характеристиках стали, но и данные об эффективности совместной работы арматуры с бетоном [1–15]. В работе приводятся исследования сцепления с бетоном арматуры класса A550 СК, производимой металлургическим холдингом «Новосталь М» [1], со статистическим обоснованием результатов. Нормативно определяемая несущая способность проката на выдергивание из бетона не учитывает фактическую величину относительной площади смятия поперечных ребер f_R , что является значительным недоучетом фактических условий работы проката и препятствует рациональному проектированию армируемых конструкций в целом, приводя к появлению нереализованного запаса прочности при назначении величин нахлесток и анкеровок, оказывающих заметное влияние на металлоемкость арматурных решений. Так, результаты расчета нормативной прочности на выдергивание для $d10\text{--}d36$ A500C (форма проката 2Ф по работе [5]) демонстрируют прямую зависимость усилия вытаскивания лишь от прочности бетона и арматуры на растяжение, что связано с отсутствием нормативной модели работы контактного слоя бетон – арматура, что опровергается экспериментальной практикой, нуждается в прикладной методике нормативного учета параметров оребрения проката и условий его работы в бетоне.

МЕТОД

В связи с нелинейностью исследуемой модели планирование эксперимента для принятых факторов проводились в трех уровнях. В качестве факторов эксперимента принимали класс бетона и диаметр арматурного стержня. Программа испытаний дана в табл. 1.

Andrey V. Shevchenko, Candidate of Technical Sciences, Chief Engineer, KTB Beton Group, 6 64 2nd Institute, Moscow, 109428, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 9509-5666, E-mail: a.shevchenko@ktbbeton.com

Andrey E. Naumov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Expertise and Real Estate Management, Belgorodsky State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 9292-9988, E-mail: kafeun@mail.ru

Mikhail A. Shevchenko, student, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; E-mail: shevasheva.m@gmail.com

Таблица 1 / Table 1

Программа испытаний / The testing program

Класс бетона Concrete grade	Наименование образца Specimen designation	Диаметр, мм Diameter, mm	Кол-во, шт Quantity, pcs.
B20	Выд-10-B20-Е	10	4
	Выд-16-B20-Е	16	3
	Выд-36-B20-Е	36	3
B30	Выд-10-B30-Е	10	3
	Выд-16-B30-Е	16	3
	Выд-36-B30-Е	36	3
B40	Выд-10-B40-Е	10	3
	Выд-16-B40-Е	16	3
	Выд-36-B40-Е	36	4

С целью апробации методики испытаний и возможности ее корректировки при значительном расхождении с теоретическими предпосылками из серии образцов с количеством 4 штуки предварительно проводят испытания, изготовив отдельные образцы.

Проведение испытаний

Авторами для исследования потенциальных возможностей и нормативного учета параметров поперечного сечения проката при оценке его прочности на выдергивание были проведены выборочные измерения геометрических параметров периодического профиля арматуры класса А550СК в части относительной площади смятия поперечных ребер f_R , определяемой по формулам А.1 и А.3 [3] (табл. 2, 3), позволившие установить значительно большие установленных [5] фактические значения параметра, являющегося, вероятно, побочным придаваемым при технологическом совершенствовании производства прокату свойством, никак не коррелирующим с минимальными нормативными требованиями и тем более содержащим значительный нереализованный потенциал учета при оценке прочности.

Таблица 2 / Table 2

Исходные данные / Initial data

Диаметр проката, мм Rebar diameter, mm	Класс бетона Concrete grade	Глубина анкеровки, мм Anchorage depth, mm	Расчетная прочность арматуры R_s , МПа / Design strength of reinforcement R_s , MPa	Расчетная прочность бетона R_{bt} , МПа / Design tensile strength of concrete R_{bt} , MPa	Расчетная прочность бетона R_{bond} , МПа / Design bond strength of concrete R_{bond} , MPa	Расчетное усилие выдергивания, кН/мм / Design pull-out force, kN/mm
10	B40	50	480	1,40	3,50	0,11
16	B40	50	480	1,40	3,50	0,28
36	B40	50	480	1,40	3,50	0,55

Таблица 3 / Table 3

Результаты измерения относительной площади смятия поперечных ребер сечения проката f_R для отдельных стержней A550CK / Measurement results of the relative crumpling area of the transverse ribs of the rolled section f_R for individual rods A550SK

Диаметр Diameter	Форма Delivery form	Фактическая относительная пло- щадь смятия поперечных ребер f_R Actual relative bearing area of trans- verse ribs f_R		C_{min} , установленное [3] C_{min} , specified in [3]
		C_{max}	C_{min}	
10	Мотки / Coils	0,092	0,092	0,052
10	Мотки / Coils	0,083	0,076	0,052
10	Мотки / Coils	0,085	0,083	0,052
16	Прутки / Bars	0,088	0,077	0,056
16	Прутки / Bars	0,077	0,076	0,056
16	Прутки / Bars	0,080	0,076	0,056
36	Прутки / Bars	0,096	0,091	0,056
36	Прутки / Bars	0,087	0,087	0,056
36	Прутки / Bars	0,096	0,092	0,056

Несмотря на нормативную допустимость двойкой оценки относительной площади смятия поперечных ребер сечения проката fr по формулам А.1 и А.3 [5], результаты расчета продемонстрировали приемлемую корреляцию значений по обеим формулам (рис. 1) в пределах соотношения значений 100–120 %, что позволяет для практических целей принимать наиболее геометрически обоснованное значение fr по формуле А.3 с линейным соотнесением получающейся прочности на выдергивание для других методов оценки fr .

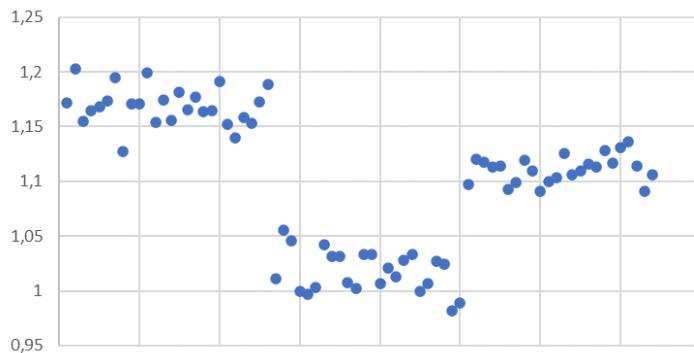


Рис. 1. Отношение относительной площади смятия поперечных ребер сечения проката fr для отдельных стержней А550СК, определенной по формулам А.1 и А.3 [5]: слева направо прокат $d10$, $d16$, $d36$ соответственно

Fig. 1. The ratio of the relative area of crumpling of the transverse ribs of the rolled section f_R for individual rods A550SK, determined by formulas A.1 and A.3 [5]: from left to right procat d_{10} , d_{16} , d_{36} , respectively

Учитывая текущее нормативное несовершенство, отсутствие механизмов учета фактических параметров сечения проката, количественная оценка потенциала прочности проката на

вытаскивание из бетона может быть осуществлена только экспериментально. Испытание вытаскиванием, базирующееся на работе [3], выполняется для определения сцепления арматуры и служит основанием для сравнения проката одинакового диаметра, но с разными влияющими на сцепление факторами, в частности категорией пластичности проката (рис. 2). Принцип испытания заключается в том, что к арматурному стержню, который включается в бетонный куб вдоль определенной длины, прикладывают растягивающее усилие, оставляя другой конец стержня без напряжения. Соотношение между силой растяжения и сдвигом (относительное смещение между арматурой и бетоном) измеряется до разрушения (сцепления или непосредственно арматуры).

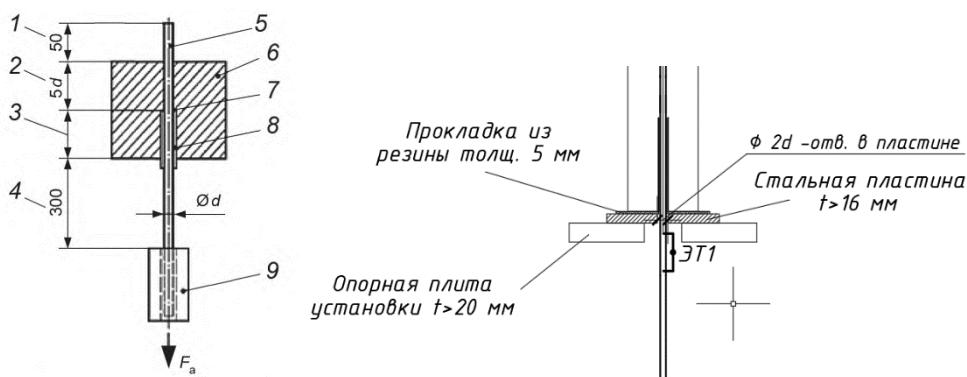


Рис. 2. Принципиальная схема испытания сцепления стальной арматуры периодического профиля с бетоном (испытание на вытаскивание) [1]: 1 — часть стержня до точки применения устройства измерения смещения; 2 — длина сцепления; 3 — свободная преддлина $5d$, минимум 200 мм — $5d$; 4 — часть стержня до точки приложения силы растяжения; 5 — арматурный стержень; 6 — бетон; 7 — закупоривание; 8 — пластмассовая трубка; 9 — захват испытательной машины

Fig. 2. Schematic diagram of testing the adhesion of steel reinforcement of a periodic profile to concrete (pulling test) [1]: 1 — part of the rod up to the point of application of the displacement measuring device; 2 — length of coupling; 3 — free pre-length $5d$, minimum 200 mm — $5d$; 4 — part of the rod up to points of application of the tensile force; 5 — reinforcing rod; 6 — concrete; 7 — plugging; 8 — plastic tube; 9 — gripping the testing machine

Испытательный образец по методике испытаний представляет собой куб бетона, в центре которого располагается стержень, эффективная длина сцепления которого принимается в пределах 5 диаметров и соответствует только части образца, в другой части стержня сцепление отсутствует. Испытуемый стержень продолжается за обе стороны образца, выдергивающее усилие прикладывается к длинному концу, устройство измерения сдвига устанавливается на коротком выпуске образца. Вокруг стержня устанавливаются изолирующие его от бетона трубы, исполнение и материал которых должны максимально исключать влияние сцепления этого участка с бетоном на общий результат эксперимента, что достигается использованием тонких гладких ПВХ трубок, герметизированных от затекания бетона с торцов. Механизм приложения выдергивающей силы методикой испытаний не нормируется, однако он должен быть оснащен системой регулирования прикладываемого усилия, допускающего контроль его значения при повышении с точностью не менее 1 % максимальной силы, полученной при испытании, и фиксацию усилия на этапах испытаний, что достигается использованием гидравлических тянувших (обратного действия) цилиндров, нагружаемых контролируемым эталонным манометром давлением насосной станции. Точность приборов для измерения сдвига установлена методикой в 0,01 мм. Она несложно достигается и увеличивается при использовании индикаторов часового типа ИЧ 12,5-0,001, для удобства фиксации и документирования результатов — электронных, устанавливаемых на поверхность бетонного образца и свободный торец выдергиваемого стержня. Испытуемый стержень контролируется на отсутствие в производственном состоянии случайной вторичной окалины, ржавчины, следов механической обработки и

очистки, измененной шероховатости и прочих влияющих на условия сцепления с бетоном обстоятельств, рекомендуется обезжиривать непосредственно перед обетонированием в образце.

Для экспериментальных исследований в соответствии с рекомендуемой методикой схемой (рис. 3) изготовлен испытательный стенд, приспособленный под изменяемые размеры испытываемых образцов, размеры и усилие нагружающих устройств, оборудованный инструментами видеоконтроля и фиксации показаний, измеряющих устройства на этапах нагружения (рис. 4). Нагружение образца в стенде осуществлялось изготовленным захватом для торца стержня с приваренной опорной пластиной, приложение нагрузки выполнялось тянущим гидравлическим цилиндром ДО150 (150 кН) рабочим давлением 60 МПа, нагнетаемым автоматической насосной станцией Энерпред НЭЭ-1106К, контролируемой цифровым манометром ЦМ-И-521Р.

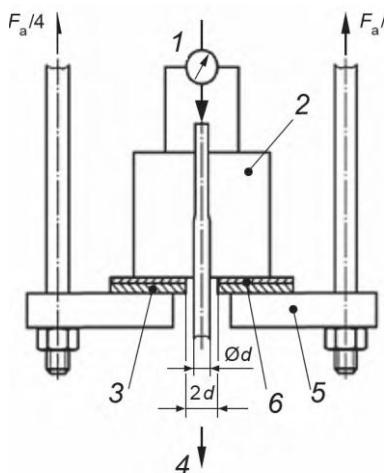


Рис. 3. Рекомендуемая [1] схема испытательной установки:

1 — прибор измерения сдвига A0; 2 — испытываемый образец; 3 — стальная плита толщиной не менее 10 мм; 4 — сила растяжения; 5 — опорная плита; 6 — резиновая несущая прокладка

Fig. 3. Recommended [1] scheme of the test installation: 1 — slip measuring device A0; 2 — test sample; 3 — steel plate with a thickness of at least 10 mm; 4 — tensile force; 5 — base plate; 6 — rubber bearing gasket

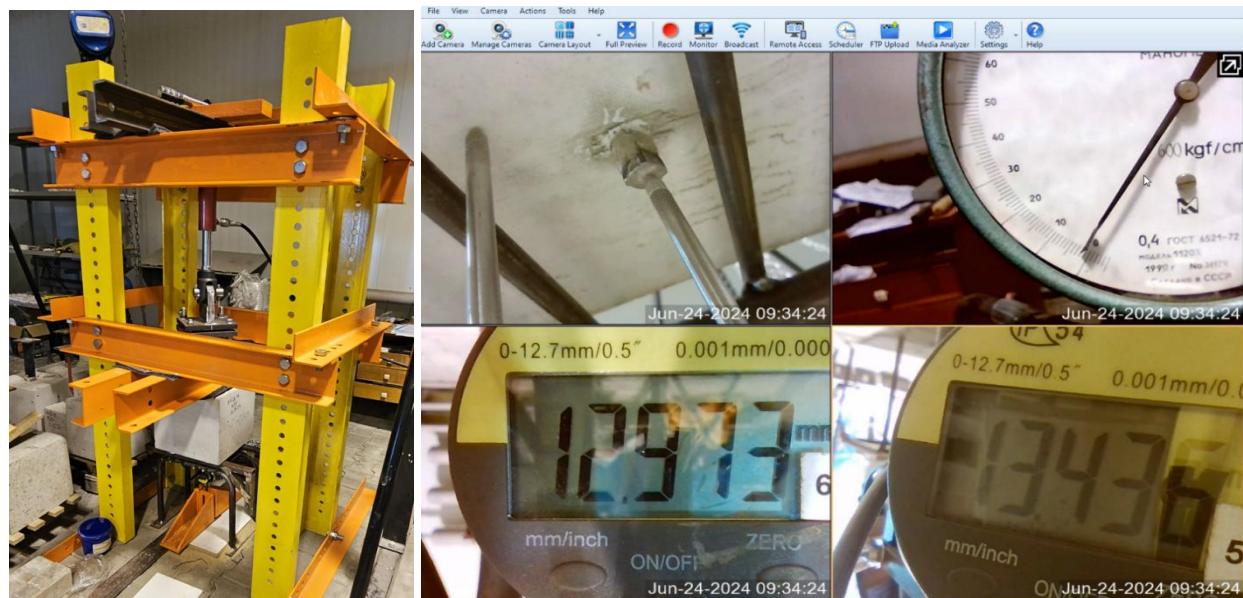


Рис. 4. Стенд для испытаний прочности арматурного проката на выдергивание из бетона (прочность сцепления арматурного проката с бетоном): общий вид установки с испытываемым образцом, видеоконтроль параметров испытаний, обеспечивающий данные для цифрового протокола эксперимента

Fig. 4. Test bench for the strength of rebar rolled products for pulling out of concrete (adhesion strength of rebar rolled products to concrete): general view of the installation with the test sample, video monitoring of the test parameters, providing data for the digital protocol of the experiment

Рекомендованный режим проведения испытаний включает температуру воздуха не ниже 15 °С и влажность 40–60 %, режим приложения выдергивающей нагрузки — кратковременное поэтапно увеличиваемое нагружение с величиной каждой ступени нагружения не менее 10 % от теоретической выдергивающей стержень нагрузки, с выдержкой приложения нагрузки на каждом этапе не менее 5 мин до стабилизации показаний измеряющих перемещение продергивания стержня приборов.

Оценка фактических запасов прочности арматурного проката на выдергивание из бетона определялась по экспериментально устанавливаемой прочности сцепления исследуемого арматурного проката А550СК с бетоном близких по прочности на растяжение классов В30 и В40. Изготавливаемые для испытаний образцы соответствовали техническим характеристикам, представленным на рис. 1.

Изготовление бетонных смесей, приготовление экспериментальных образцов и их приемка производились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180, образцы набирали прочность в условиях тепловлажностной обработки. Образцы должным образом маркировались и хранились. Для приготовления бетонных смесей применялись цементы по ГОСТ 10178 и ГОСТ 31108, заполнитель для образцов принял фракции 5–20 из плотных горных пород. Принятые для изготовления экспериментальных образцов заполнители для тяжелых бетонов удовлетворяют требованиям ГОСТ 26633, а также требованиям на конкретные виды заполнителей: ГОСТ 8267, ГОСТ 8736, ГОСТ 5578, ГОСТ 26644, ГОСТ 25592, ГОСТ 25818, ГОСТ 32495 и ГОСТ Р 55224. Вода затворения бетонной смеси и приготовления растворов химических добавок соответствовала требованиям ГОСТ 23732.

Арматурные изделия изготавливались и контролировались по ГОСТ Р 57997–2017, формы для изготовления образцов соответствовали требованиям ГОСТ 10180, ГОСТ 22685 и ГОСТ 25781. Перед испытаниями в журнал испытаний помимо требуемых стандартами данных занесены фактические размеры образцов, сеток, фактическое расположение арматуры, фактическая величина относительной площади смятия поперечных ребер f_R . Установлено отсутствие дефектов изготовления образцов (каверны, раковины, трещины, наплыты, сколы ребер, отклонения от плоскостности, отклонения от прямолинейности и перпендикулярности), оказывающих неучитываемое негативное влияние на результат эксперимента.

Процедура испытания в соответствии с Приложением D [3] включает вертикальное размещение образца на опорной плите натяжного устройства, имеющего центральную полость $2d$. Сила натяжения F_a прикладывается к длинному концу образца, степень нагружения V_p определяется для каждого диаметра стержня отдельно, позволяя контролировать усилие выдергивания по шаговому увеличению напряжений в стержне, использовалось значение скорости нагружения $V_p = 0,56d^2$ (Н/с), где d является номинальным диаметром стержня в миллиметрах и составляет 56, 143 и 726 Н/с для проката $d10$, $d16$ и $d36$ соответственно. Сдвиг свободного торца стержня измеряется в начале и в конце каждого приращения нагружения, разница в показаниях индикаторов, установленных на бетонной и стальной частях образца, относится к величине продергивания стержня, характер изменения которой позволяет отделить упругую (обратимую) и пластическую часть деформации.

Перемещения сдвига торца испытуемого проката отсчитывались по показаниям индикатора, упираемого в выводимые за поверхность бетона торец проката, перемещения бетона — по показаниям другого индикатора, упираемого в нижнюю грань образца в пределах 10–15 мм от стержня проката (см. рис. 5).

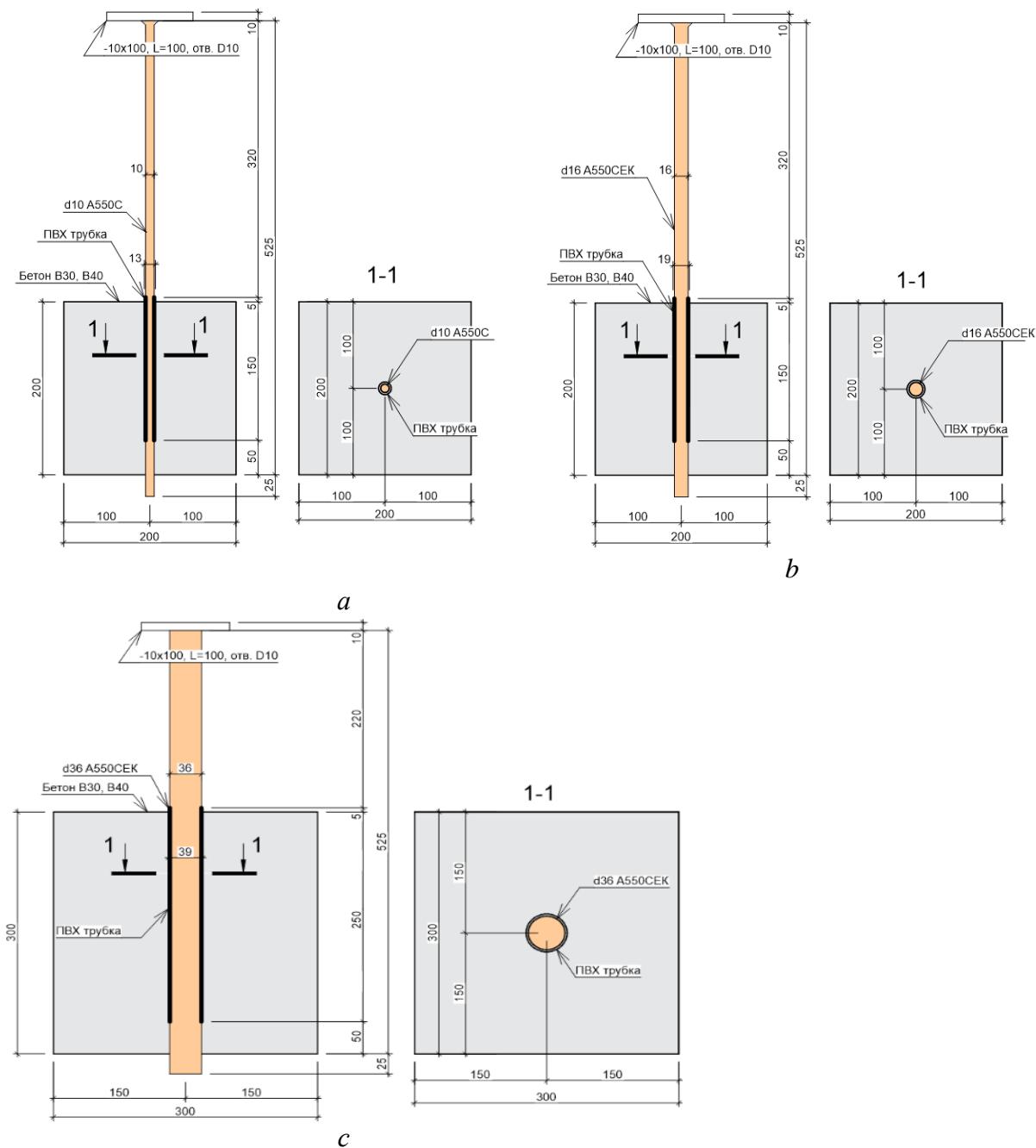


Рис. 5. Технические характеристики образцов прочности арматурного проката на выдергивание из бетона (прочность сцепления арматурного проката с бетоном): *a* — Выд-10; *b* — Выд-16; *c* — Выд-36

Fig. 5. Technical characteristics of samples of strength of reinforced rolled products for pulling out of concrete (strength of adhesion of reinforced rolled products to concrete): *a* — Выд-10; *b* — Выд-16; *c* — Выд-36

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Так как при статистической обработке результатов располагали только данной выборкой, то для исключения резко выделяющихся результатов применяли критерий Граббса [6]. В зависимости от того, какой из крайних членов исследуемой упорядоченной совокупности $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$, определяют значения:

$$G_1 = \frac{x_n - \bar{x}}{s} \quad (1)$$

или

$$G_2 = \frac{\bar{x} - x_1}{s}, \quad (2)$$

где

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (3)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (4)$$

где \bar{x} — среднее значение; s — стандарт (среднее квадратическое отклонение); n — количество образцов.

Далее полученные значения сопоставляют с критическими значениями для найденного уровня значимости (рис. 6). Результаты расчета даны в табл. 4.

Таблица 4 / Table 4

Исключение грубых погрешностей / Exclusion of gross errors

Маркировка Specimen	Фактическая прочность сцепления, МПа Bond strebgth, MPa	Стандарт s Standard s	Среднее \bar{x} Mean value \bar{x}	Критерий Граббса для крайних членов выборки Grubbs' criterion for extreme sample values		Критическое значение при $\alpha = 0,05$ / Critical value at $\alpha = 0,05$
				минимального / minimum	максимального / maximum	
Выд-20.355112175318 /00.01.00/0,000	20,355	3,025	24,65	1,418	2,241	2,294
Выд-21.6670350661282 /00.01.00/0,000	21,667					
Выд-23.2725753962235 /00.01.00/0,000	23,273					
Выд-23.4794852589289 /00.01.00/0,000	23,479					
Выд-24.2034784120724 /00.01.00/0,000	24,203					
Выд-24.3278990216177 /00.01.00/0,000	24,328					
Выд-25.4438902191475 /00.01.00/0,000	25,444					
Выд-25.6794489672631 /00.01.00/0,000	25,679					
Выд-26.6100832934528 /00.01.00/0,000	26,610					
Выд-31.4245438864146 /00.01.00/0,000	31,425					

После исключения резко выделяющихся наблюдений строится выровненная эмпирическая кривая и проверяется гипотеза о ее распределении по нормальному закону (Гаусса). Расчет ведем по методике [8].

Предварительно вычисляем \bar{x} и s .

В столбце 6 табл. 5 определяется:

$$t = \frac{x_i - \bar{x}}{s}, \quad (5)$$

где x_i — середина i -го интервала; \bar{x} — среднее значение; s — стандарт (среднее квадратическое отклонение).

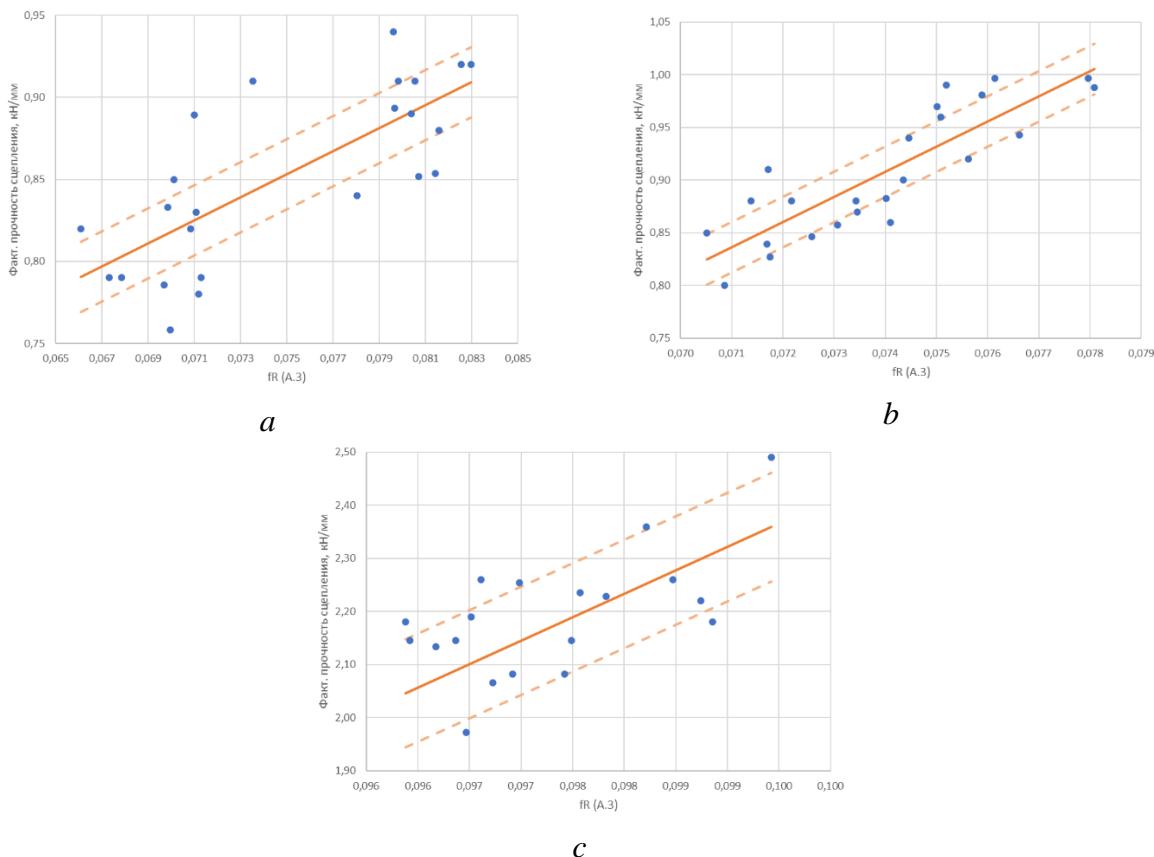


Рис. 6. Зависимости удельной прочности сцепления, кН/мм, арматурного проката в бетоне классов B30–B40 от относительной площади смятия поперечных ребер f_R : *a* — d10A550C; *b* — d16A550C; *c* — d36A550C

Fig. 6. Dependences of the specific adhesion strength, kN/mm, of reinforced rolled products in concrete of classes B30–B40 on the relative area of the transverse ribs of f_R : *a* — d10A550C; *b* — d16A550C; *c* — d36A550C

По вычисленным значениям t в Приложении V [8] находим $\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$ (см. столбец 6 табл. 5).

Затем составляется разность между накопленными теоретическими и накопленными эмпирическими суммами и находится максимальное значение этой разности. В нашем случае она равна 0,33.

Таблица 5 / Table 5

Результаты проверки принадлежности закона нормального распределения (критерий Колмогорова) /
Results of verification of compliance with the law of normal distribution (Kolmogorov's criterion)

No.	Маркировка / Specimen	Фактическая прочность сцепления, MPa / Bond Strength, MPa	Среднее Стандарт, s / Standard, s	Среднее интervала / Middle point of the range	$\bar{X}_i - \bar{X}$	$t = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}}{s}$	$\Phi(t)$	Вероятность интервалов $(h/s) \cdot \varphi(t)$ / Probability of the ranges	Теоретические частоты (n_i) / Theoretical frequencies	Накопленные эмпирические $\sum m_i$ / Accumulated empirical $\sum m_i$	(накопленные) m_i' / (Accumulated) m_i'	D_{\max}	λ	$P(\lambda)$		
1	2	3	4	5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Выл-10 B40/23.05.24	26.308			26.477	-4.544	-1.192	0.19600	0.1669	0.67	1	0.67	0.33			
2	Выл-10 B40/23.05.24	26.646			29.321	-1.700	-0.446	0.36120	0.3076	1.23	2	1.9	0.1			
3	Выл-10 B40/17.05.24	28.200			33.617	2.596	0.681	0.31630	0.2693	1.08	3	2.98	0.02			
4	Выл-10 B40/17.05.24	29.508			34.667	3.646	0.957	0.25240	0.2149	0.86	4	3.84	0.16			
5	Выл-10 B40/17.05.24	30.254			3.811	31.021								0.083	0.166	0.9999
6	Выл-10 B40/17.05.24	33.617														
7	Выл-10 B40/17.05.24	34.667														

После этого находим:

$$D_{\max} = \frac{0,33}{N} = \frac{0,33}{4} = 0,083, \quad (6)$$

где $N = \sum m_i = 4$.

Коэффициент $\lambda = D_{\max} \sqrt{N} = 0,083 \cdot \sqrt{4} = 0,166$.

По Приложению XI [8] для данного значения λ находим $P(\lambda)$ — вероятность того, что гипотетическая функция выбрана правильно. В нашем случае для $\lambda = 0,166$, $P(\lambda) = 0,9999$, следовательно, эмпирическая и теоретическая кривые согласуются хорошо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получающиеся в результате экспериментальной оценки показатели удельной прочности сцепления, кН/мм, арматурного проката d10-36A550C в бетоне классов В30–В40 продемонстрировали устойчивую возрастающую линейную зависимость от относительной площади смятия поперечных ребер f_R , что требует подтверждения и на других сечениях проката и параметрах его оребрения, однако можно утверждать, что с обеспеченностью 0,95 учет в совершенствующей методике оценки величины анкеровки проката фактических параметров сечения позволит в пределах разброса свойств даже в одной партии обеспечивать обоснованное изменение расчетного сцепления арматуры с бетоном на величину до 15 % для проката малых диаметров (до 20 мм) и до 10 % для больших диаметров (20+ мм), в отношении которого рационализация нормативно требуемых больших величин расчетных анкеровок является наиболее эффективной и перспективной.

Статистическая обработка данных выявила нормальное распределение прочностей, что требует проведения увеличенного объема испытания для оценки по критерию Колмогорова. На основании полученного результата рационально изменение подхода к оценке прочности проката на сцепление с бетоном в случае применения в конструкции арматуры с повышенным значением $f_R > 0,075$ и тяжелого бетона классов В30–В40, допускающего наравне с нормативным обоснованное снижение величины анкеровки на основании испытаний на выдергивание и входного контроля f_R .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыба О.О., Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Баглаев Н.Н., Шевченко А.В. Исследования арматуры нового класса прочности А550СК // Бетон и железобетон. 2023. № 619 (5/6). С. 62–70.
2. Цыба О.О. Трещиностойкость и деформативность растянутого железобетона с ненапрягаемой и напрягаемой стержневой арматурой, имеющей различную относительную площадь смятия поперечных ребер : автореф. дис. к.т.н. // Науч.-исслед. центр «Строительство». 2011.
3. RILEM Рекомендации RC 6. Испытание на сцепление арматурной стали — 2. Испытание выдергиванием. 1983.
4. СП 63.1330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М. : Стандартинформ, 2018.
5. ГОСТ 34028–2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2019.
6. ГОСТ Р ИСО 5479–2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. М. : ИПК Издательство стандартов, 2002.
7. ISO 5479:1997. Statistical interpretation of data. Tests for departure from the normal distribution.
8. РТМ 44–62. Методика статистической обработки эмпирических данных. М. : Изд-во стандартов, 1966.

9. ГОСТ 34028–2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2019.
10. ГОСТ Р 52544–2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2006.
11. ГОСТ 12004–81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. М. : Стандартинформ, 2009.
12. ГОСТ 14098–2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. М. : Стандартинформ, 2015.
13. Смоляго Г.А., Жданов А.Е., Обернихина Я.Л. Влияние уровня нагрузки усиления на несущую способность железобетонных балок, внешне армированных углепластиком // Железобетонные конструкции. 2023. № 3(3). С. 49–61. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.3.49-61
14. Тамразян А.Г., Садоян Г.А. Несущая способность изгибаемых железобетонных балок при коррозионных повреждениях сжатой зоны // Железобетонные конструкции. 2025. № 11 (3). С. 21–27. DOI: 10.22227/2949-1622.2025.3.21-27
15. Римшин В.И., Сулейманова Л.А., Амелин П.А. Несущая способность полимеркомпозитно усиленных изгибаемых железобетонных элементов в условиях воздействия коррозионной среды // Железобетонные конструкции. 2025. № 11(3). С. 28–40. DOI: 10.22227/2949-1622.2025.3.28-40

REFERENCES

1. Tsyba O.O., Trekin N.N., Kodysh E.N., Baglaev N.N., Shevchenko A.V. Studies of reinforcement of a new strength class A550SK. *Concrete and reinforced concrete*. 2023; 619(5/6):62-70. (in Russian).
2. Tsyba O.O. Crack resistance and deformability of stretched reinforced concrete with non-stressed and stressed core reinforcement having different relative areas of crushing of transverse ribs : PhD thesis abstract. *Scientific Research Center "Construction"*. 2011. (in Russian).
3. RILEM Recommendations RC 6. Test for the adhesion of reinforcing steel — 2. Pull-out test. 1983. (in Russian).
4. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Moscow, Standartin-form, 2018. (in Russian).
5. GOST 34028–2016. Reinforcement rental for reinforced concrete structures. *Technical specifications*. Moscow, Standartinform, 2019. (in Russian).
6. GOST R ISO 5479–2002. Statistical methods. Checking the deviation of the probability distribution from the normal distribution. Moscow, IPK Publishing House of Standards, 2002. (in Russian).
7. ISO 5479:1997. Statistical interpretation of data. Tests for departure from the normal distribution.
8. RTM 44-62. Methodology of statistical processing of empirical data. Moscow, Publishing House of Standards, 1966. (in Russian).
9. GOST 34028–2016. Reinforcement rental for reinforced concrete structures. Technical specifications. Moscow, Standartinform, 2019. (in Russian).
10. GOST R 52544–2006. Welded reinforcing steel of periodic profile of classes А500С and В500С for reinforcement of reinforced concrete structures. Technical specifications. Moscow, Standartinform, 2006. (in Russian).
11. GOST 12004–81. Reinforcing steel. Tensile testing methods. Moscow, Standartinform, 2009. (in Russian).
12. GOST 14098–2014. Joints of welded fittings and embedded products of reinforced concrete structures. Types, designs, and sizes. Moscow, Standartinform, 2015. (in Russian).
13. Smolyago G.A., Zhdanov A.E., Obernikhina Ya.L. Influence of Reinforcement Load Level on Bearing Capacity of RC Beams Externally Reinforced with CFRP. *Reinforced concrete structures*. 2023; 3(3):49–61. DOI: 10.22227/2949-1622.2023.3.49-61 (in Russian).
14. Tamrazyan A.G., Sadoyan H.A. Bearing Capacity of Flexural Reinforced Concrete Beams with Corrosion Damage in the Compression Zone. *Reinforced concrete structures*. 2025; 11(3):21-27. DOI: 10.22227/2949-1622.2025.3.21-27 (in Russian).
15. Rimshin V.I., Suleymanova L.A., Amelin P.A. Bearing Capacity of Polymer-Composite Strengthened Bent Reinforced Concrete Elements under Conditions of Exposure to a Corrosive Environment. *Reinforced concrete structures*. 2025; 11(3):28-40. DOI: 10.22227/2949-1622.2025.3.28-40 (in Russian).